

表 8 地下施設からの排水に係る水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度	令和3年度	令和4年度	(参考値) 水質汚濁防止法 排水基準
		平成18年12月 ～令和3年3月	令和3年4月 ～令和4年3月	令和4年4月 ～令和5年3月	
カドミウム (mg/L)	立坑の原水	<0.01	<0.01	<0.003	0.03
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01	<0.01	<0.003	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	<0.003	
ヒ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.01~0.08	<0.01	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01	
セレン (mg/L)	立坑の原水	<0.01~0.02	<0.01	<0.01	0.1
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.01~0.04	<0.01~0.02	<0.01~0.01	
	揚水設備における処理済排水	<0.01	<0.01	<0.01	
フッ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.8~3.5	<0.8	<0.8	8
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.8	<0.8	<0.8	
	揚水設備における処理済排水	<0.8~1.6	<0.8	<0.8	
ホウ素 (mg/L)	立坑の原水	<0.1~160	71~79	65~81	10
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	<0.1~37	1.5~7.3	2.3~5.8	
	揚水設備における処理済排水	<0.1~3.0	<0.1~0.5	<0.1~0.8	
全窒素 (mg/L)	立坑の原水	0.41~117	59~79	55~71	120 (日間平均 60)
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	3.0~150	20~28	19~33	
	揚水設備における処理済排水	0.60~48	9.6~22	10~21	
全アンモニア (mg/L)	立坑の原水	0.12~110	37~59	38~60	—
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	0.12~22	0.17~1.2	0.14~1.1	
	揚水設備における処理済排水	<0.05~6.8	<0.05~0.28	<0.05	
pH	立坑の原水	7.5~9.5	8.1~8.2	8.1~8.3	5.8~8.6
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	6.7~8.7	7.2~8.6	7.3~8.3	
	揚水設備における処理済排水	6.9~8.6	7.5~8.1	7.4~8.0	
浮遊物質 質量 (mg/L)	立坑の原水	4~580	8~24	3~78	200 (日間平均 150)
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	1~170	3~9	3~6	
	揚水設備における処理済排水	<1~9	<1~3	<1	
塩化物イオン (mg/L)	立坑の原水	20~4,300	3,300~3,700	2,900~3,700	—
	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	10~1,500	37~240	60~170	
	揚水設備における処理済排水	38~4,700	1,300~2,900	1,700~3,100	

※1：主な分析項目を抜粋しています。

※2：採水地点を図 126 に示します。

(3) 天塩川の水質調査結果

地下施設からの排水の放流先である天塩川の採水地点（図 127）において、定期的（原則1回/月）に採水し（図 128）、水質調査を実施しています。

令和4年度における調査結果は、表 9 に示すとおりです。浮遊物質について、北るもい漁業協同組合との協定値（20 mg/L）を超過した時期（4月、5月、7月）がありました。放流口の上流側（B2）においても同程度の高い値を示しており、同日に採取した揚水設備における処理済排水の浮遊物質は低い値（ <1 mg/L）であることから、地下施設からの排水の影響ではなく、融雪や降雨などに伴う自然的な要因によるものと考えられます。その他の調査項目については、協定値の範囲内であることから天塩川に影響を与えていないものと判断しています。



図 127 天塩川の採水地点

地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) を加工し、採水地点などを追記しています。



(a) 採水状況（令和4年5月10日）



(b) 採水試料（令和4年5月10日）

図 128 天塩川での採水状況

表 9 天塩川の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2		過年度		令和4年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
			放流前 平成18年6月 ～平成18年11月	放流後 平成18年12月 ～令和4年3月	令和4年4月 ～令和5年3月	
ホウ素 (mg/L)	B1	表層	<0.02~0.04	<0.01~0.35	0.01~0.12	5
		中層	—	<0.01~3.5	0.01~1.5	
		深層	<0.02~3.35	<0.01~4.9	0.01~4.6	
	B2	表層	<0.02~0.04	<0.01~0.27	0.01~0.05	
		中層	—	<0.01~3.7	0.01~1.0	
		深層	<0.02~3.28	<0.01~5.0	0.01~4.5	
	B3	表層	<0.02~0.07	<0.01~0.28	0.01~0.23	
		中層	—	<0.01~2.5	0.01~0.88	
		深層	<0.02~1.03	<0.01~5.0	0.01~4.7	
全窒素 (mg/L)	B1	表層	0.37~1.06	0.11~2.2	0.24~1.1	20
		中層	—	0.15~2.2	0.30~1.1	
		深層	0.42~1.50	0.15~6.5	0.41~1.3	
	B2	表層	0.37~1.14	0.14~2.2	0.22~1.1	
		中層	—	0.15~2.3	0.29~1.1	
		深層	0.4~1.16	0.16~2.3	0.42~1.1	
	B3	表層	0.4~1.31	0.16~2.2	0.25~1.1	
		中層	—	0.11~2.3	0.28~1.1	
		深層	0.49~1.24	0.16~2.3	0.24~1.1	
全アンモニア (mg/L)	B1	表層	—	<0.05~0.83	<0.05~0.10	2※3
		中層	—	<0.05~0.92	<0.05~0.11	
		深層	—	<0.05~0.85	<0.05~0.08	
	B2	表層	<0.01~0.13	<0.05~0.89	<0.05~0.10	
		中層	—	<0.05~0.76	<0.05~0.08	
		深層	0.01~0.35	<0.05~0.85	<0.05~0.09	
	B3	表層	0.01~0.21	<0.05~0.89	<0.05~0.10	
		中層	—	<0.05~0.90	<0.05~0.10	
		深層	0.02~0.17	<0.05~0.96	<0.05~0.09	
pH	B1	表層	7.1~7.4	6.4~7.8	6.3~7.6	5.8~8.6
		中層	—	6.5~7.7	6.3~7.8	
		深層	7.0~7.6	6.5~8.0	6.5~7.8	
	B2	表層	7.1~7.4	6.6~7.9	6.3~7.7	
		中層	—	6.5~7.9	6.4~7.5	
		深層	7.2~7.6	6.6~8.0	6.5~7.5	
	B3	表層	7.0~7.6	6.6~7.9	6.6~7.6	
		中層	—	6.6~7.7	6.6~7.7	
		深層	7.1~7.4	6.6~8.0	6.6~8.1	
浮遊物質量 (mg/L)	B1	表層	3~34	<1~360	1~32	20
		中層	—	<1~390	1~31	
		深層	6~86	<1~400	1~32	
	B2	表層	3~36	<1~390	1~34	
		中層	—	<1~400	1~36	
		深層	5~47	<1~460	1~37	
	B3	表層	3~35	<1~420	<1~31	
		中層	—	<1~460	<1~34	
		深層	5~49	<1~650	<1~37	

※1：主な分析項目を抜粋しています。

※2：採水地点を図 127 に示します。表層：水面下0.1 m付近、中層：塩水層と淡水層の間もしくは1/2 深度、深層：川床上1 m付近、です。

※3：北るもい漁業協同組合との確認により、B3 地点（放流口下流1 km）の値としています。

(4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

地下施設の建設により発生した掘削土（ズリ）は、二重に遮水された掘削土（ズリ）置場で管理していますが、遮水された外側となる掘削土（ズリ）置場周辺への影響を監視するため、図 129 に示す採水地点において、観測用のボーリング孔から地下水を定期的（原則 4 回/年）に採水し（図 130）、水質調査を実施しています。

令和 4 年度における調査結果は、表 10 に示すとおり、これまでの調査結果と同等であることから、掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。



図 129 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水地点



(a) 採水状況（A1 地点：令和 4 年 5 月 10 日）



(b) 採水試料（A1 地点：令和 4 年 5 月 10 日）

図 130 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況

表 10 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		令和4年度			
		掘削土（ズリ） 搬入前 平成18年6月 ～平成19年4月	掘削土（ズリ） 搬入後 平成19年5月 ～令和4年2月	令和4年			令和5年
				5月	8月	11月	2月
カドミウム (mg/L)	A1	<0.001~0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A2	<0.001~0.004	<0.001~0.002	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A3	<0.001~0.003	<0.001~0.009	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
	A4	<0.001	<0.001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
鉛 (mg/L)	A1	<0.005~0.171	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005~0.006	<0.005~0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005~0.022	<0.005~0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
ヒ素 (mg/L)	A1	<0.005	<0.005~0.012	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A2	<0.005	<0.005~0.007	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A3	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
	A4	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
セレン (mg/L)	A1	<0.002	<0.002~0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A2	<0.002	<0.002~0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A3	<0.002	<0.002~0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
	A4	<0.002	<0.002~0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A1	<0.1~0.3	<0.1~0.4	<0.1	<0.1	0.2	0.1
	A2	<0.1~0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A3	<0.1~0.2	<0.1~0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	A4	<0.1	<0.1~0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ホウ素 (mg/L)	A1	19.8~50.7	0.40~63.0	23	40	20	24
	A2	1.29~43.5	0.43~37.0	7.6	31	37	36
	A3	12.5~34.0	0.18~41.8	3.2	23	9.8	12
	A4	<0.02~0.06	<0.02~0.47	<0.02	0.03	<0.02	0.02
pH	A1	6.9~7.2	6.1~7.9	6.6	6.7	6.6	6.6
	A2	4.6~6.3	3.7~6.9	6.7	6.8	6.9	6.8
	A3	6.8~7.3	4.2~7.4	6.5	6.8	6.6	6.6
	A4	5.4~6.6	5.0~6.7	5.1	5.2	5.1	5.3
塩化物イオン (mg/L)	A1	1,810~2,760	79~3,400	1,300	1,900	1,200	1,300
	A2	147~2,910	23~2,200	410	1,800	1,700	1,700
	A3	631~1,550	26~1,700	130	1,100	410	120
	A4	9.7~11.9	8.4~17.0	9.8	13	10	10

※1：主な分析項目を抜粋しています。

※2：採水地点を図 129 に示します。

(5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

掘削土（ズリ）置場雨水調整池による清水川への影響がないことを確認するため、図 131 に示す清水川の上流（A5）と下流（A7）の2地点および掘削

土（ズリ）置場雨水調整池（A6）において、定期的（原則1回/月）に採水を行い（図132）、水質調査を実施しています。

令和4年度における調査結果は、表11に示すとおり、これまでの調査結果と同等であることから、掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないものと判断しています。



図131 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水地点



(a) A6 地点での採水状況（令和4年11月1日） (b) A7 地点での採水状況（令和4年11月1日）

図132 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の採水状況

表 11 清水川および掘削土(ズリ)置場雨水調整池の水質調査結果

分析項目※1	採水地点※2	過年度		令和4年度
		掘削土(ズリ)搬入前 平成18年6月 ～平成19年4月	掘削土(ズリ)搬入後 平成19年5月 ～令和4年3月	令和4年4月 ～令和5年3月
カドミウム (mg/L)	A5	<0.001	<0.001	<0.0003～0.0005
	A6	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.0003～0.0005
	A7	<0.001	<0.001	<0.0003～0.0007
鉛 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005	<0.005
	A6	<0.005	<0.005～0.007	<0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.008	<0.005～0.005
ヒ素 (mg/L)	A5	<0.005	<0.005～0.006	<0.005
	A6	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005
	A7	<0.005	<0.005～0.009	<0.005
セレン (mg/L)	A5	<0.002	<0.002～0.002	<0.002
	A6	<0.002	<0.002～0.003	<0.002
	A7	<0.002	<0.002	<0.002
フッ素 (mg/L)	A5	<0.1～0.1	<0.1～0.2	<0.1～0.1
	A6	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1～0.1
	A7	<0.1	<0.1～0.3	<0.1～0.1
ホウ素 (mg/L)	A5	0.03～0.25	<0.02～0.44	0.04～0.56
	A6	<0.02～0.09	<0.02～0.43	0.02～0.64
	A7	0.03～0.30	<0.02～0.44	0.04～0.55
pH	A5	6.4～7.1	6.0～7.9	6.6～7.4
	A6	5.8～7.4	5.7～9.1	6.5～7.9
	A7	6.5～7.0	6.1～7.8	6.3～7.3
浮遊物質 (mg/L)	A5	1～20	<1～66	1～11
	A6	12～173	<1～500	1～20
	A7	1～11	<1～270	1～46
塩化物イオン (mg/L)	A5	14.4～30.5	7.2～70	16～55
	A6	5.1～24.7	1.7～269	1.3～22
	A7	15.6～28.7	8.1～100	15～54

※1：主な分析項目を抜粋しています。

※2：採水地点を図 132 に示します。

(6) 浄化槽排水の水質調査結果

研究所用地から排出される生活排水による環境への影響を監視するため、研究管理棟および地下施設現場事務所の浄化槽排水について、定期的（原則 1 回/4 週）に水質調査を実施しています。

令和 4 年度における水質調査結果は、表 12 に示すとおり、全ての項目において協定値を満足しています。

表 12 浄化槽排水の水質調査結果

分析項目	採水地点	過年度	令和4年度	北るもい 漁業協同組合 協定値
		平成18年12月 ～令和4年3月	令和4年4月 ～令和5年3月	
pH	研究管理棟	5.9～7.7	6.0～7.4	5.8～8.6
	地下施設現場事務所	6.8～8.0	7.1～7.9	
生物化学的 酸素要求量 (mg/L)	研究管理棟	<0.5～17	1.7～11	20
	地下施設現場事務所	<0.2～28	<0.5～12	
浮遊物質 (mg/L)	研究管理棟	0.5～10	<1～7	20
	地下施設現場事務所	<0.5～8	<1～7	
全窒素 (mg/L)	研究管理棟	6.6～52	7.1～33	60
	地下施設現場事務所	0.2～45	1.1～5.4	
全リン (mg/L)	研究管理棟	0.5～5.0	1.7～3.4	8
	地下施設現場事務所	<0.1～7.8	<0.1～0.8	
透視度 (cm)	研究管理棟	30	30	30
	地下施設現場事務所	30	30	
大腸菌群数 (個/mL)	研究管理棟	0～30	0～1,400	3,000
	地下施設現場事務所	0～2,100	0～1,100	

9.2 研究所用地周辺の環境影響調査結果

研究所用地周辺の環境影響調査として、清水川の水質および生息魚類の調査を実施しています。

(1) 清水川の水質調査結果

清水川の2地点（図 133 の No. 1、No. 2）において、定期的（原則4回/年）に採水を行い、水質調査を実施しています（図 134）。本調査は、清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果と別に、「水質汚濁に係る環境基準」に準拠して実施しているものです。

令和4年度における調査結果は、表 13 に示すとおり、これまでと比較して大きな変化がないことを確認しています。

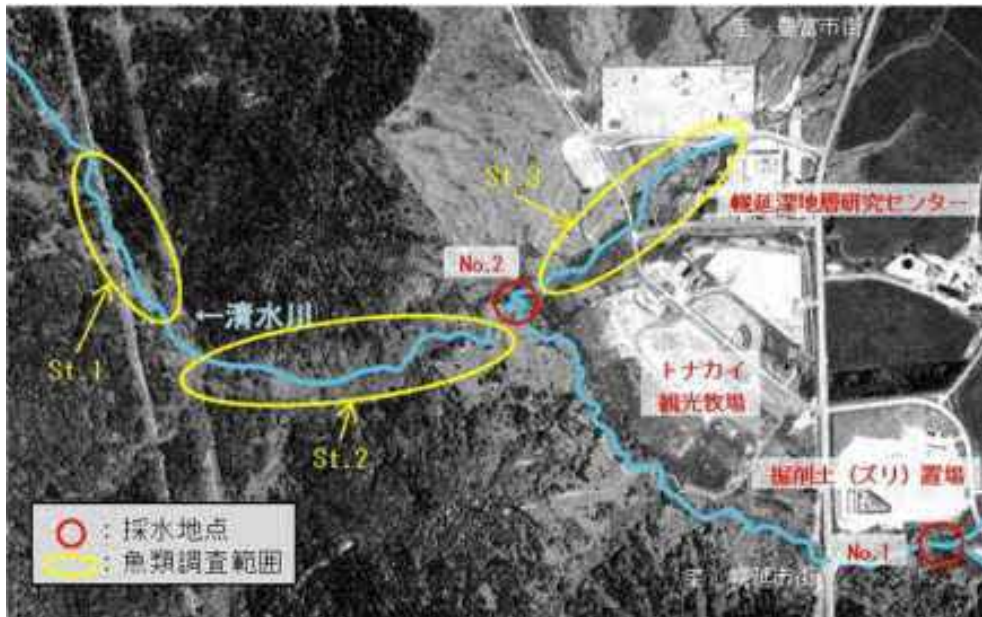


図 133 環境調査実施場所



(a) No. 1 での採水状況 (令和 4 年 6 月 1 日)



(b) No. 2 での採水状況 (令和 4 年 11 月 1 日)

図 134 清水川の水質調査

表 13 清水川の水質調査結果

分析項目 ^{※1}	採水地点 ^{※2}	過年度	令和 4 年度			
		平成 14 年 8 月 ～令和 4 年 2 月	令和 4 年			令和 5 年 2 月
			6 月	9 月	11 月	
pH	No. 1	6.3～7.9	7.2	7.2	7.2	7.5
	No. 2	6.4～7.7	7.0	7.1	7.1	7.0
生物化学的酸素要求量 (mg/L)	No. 1	<0.5～62	2.4	27	1.0	0.8
	No. 2	<0.5～10	3.1	5.2	1.8	1.1
浮遊物質 (mg/L)	No. 1	1～70	3	5	4	1
	No. 2	<1～69	5	4	2	1
溶存酸素量 (mg/L)	No. 1	6.6～13.9	10.1	5.8	10	12.1
	No. 2	5.5～12.5	7.8	5.3	9.3	9.8

※1：主な分析項目を抜粋しています。

※2：採水地点を図 133 に示します。

(2) 魚類の調査結果

清水川において、定期的（原則 3 回/年（春・夏・秋））に生息魚類の調査を行っています（図 135）。調査は、図 133 に示す St. 1、St. 2、St. 3 の 3 箇所で行っています。

令和 4 年度における調査結果は、これまでと大きな変化は認められませんでした。重要種としては、表 14 に示すとおり、スナヤツメ北方種、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、サクラマス（ヤマメ）、エゾトミヨ、ハナカジカの 6 種が確認されました。



(a) 採捕状況（令和 4 年 6 月 1 日）



(b) 採捕魚類の一例（令和 4 年 11 月 1 日）

図 135 清水川の水質調査

表 14 確認された重要種（魚類）

目	科	種	選定根拠 ^{※1}						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
ヤツメウナギ	ヤツメウナギ	スナヤツメ北方種			VU		希		
コイ	コイ	エゾウグイ				N			
	ドジョウ	エゾホトケドジョウ			EN	En			
サケ	サケ	サクラマス（ヤマメ）			NT	N	減		
トゲウオ	トゲウオ	エゾトミヨ			VU	Nt			○
カサゴ	カジカ	ハナカジカ				N			

※1 重要種の選定根拠

- ① 「文化財保護法」（昭和 25 年法律第 214 号）に基づく天然記念物および特別天然記念物
- ② 「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（平成 4 年法律第 75 号）に基づく野生動物種
- ③ 「環境省レッドリスト 2020【汽水・淡水魚類】」（環境省 2020 年）の記載種、EN：絶滅危惧 IB 類、VU：絶滅危惧 II 類、NT：準絶滅危惧
- ④ 「北海道レッドリスト【魚類編（淡水・汽水）】改訂版（2018 年）」（北海道平成 30 年）の記載種、En：絶滅危惧 IB 類、Nt：準絶滅危惧、N：留意
- ⑤ 「日本の希少な野生水生生物に関するデータブック（水産庁編）」（日本水産資源保護協会 1998 年）の記載種
- ⑥ 「緑の国勢調査－自然環境保全調査報告書－」（環境庁昭和 51 年）に基づく選定種
- ⑦ 「第 2 回自然環境保全基礎調査報告書（緑の国勢調査）」（環境庁昭和 57 年）に基づく選定種、○：調査対象

10. 安全確保の取り組み

安全確保の取り組みとして、直営作業、請負作業、共同研究作業においては、作業の計画段階からリスクアセスメント評価を実施し、安全対策の妥当性の確認や改善に努めました。

そのほか、所長や保安・建設課などによる定期的な安全パトロールを実施し、現場の安全確認や改善などに努めました（図 136）。

さらに、新規配属者や請負作業・共同研究作業の責任者などに対して安全教育を実施したほか、全国安全週間などの機会を捉えて、従業員のみならず請負企業も含めた安全行事に積極的に取り組むなど、安全意識の高揚に努めました（図 137）。



図 136 安全パトロールの状況
令和4年4月11日の実施状況



図 137 安全行事（安全大会：令和4年7月1日）の状況

11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、国内外の大学・研究機関との共同研究や研究協力をはじめ、広く関連する専門家の参加を得て進めています。令和4年度に実施した主な研究協力は以下のとおりです。

11.1 国内機関との研究協力

北海道科学大学

これまでに取得された坑道壁面の地質観察データを使用して、人工知能による画像処理技術を適用して坑道壁面画像から地質情報を取得する方法について検討しました。これは坑道壁面における地質観察の効率化を目的としています。令和4年度は、坑道壁面の画像（写真）から割れ目スケッチを生成する方法として pix2pix⁽⁶⁵⁾の適用を試み、学習データとなる坑道壁面の画像（写真）と割れ目スケッチのペアの整備に着目して課題を抽出・整理しました。今後も検討を継続し、抽出した課題を踏まえた学習データを拡充して本手法の適用性について検討する予定です。

東京大学

天然有機物が核種移行に与える影響に関する研究、および微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法の開発を行いました。

① 天然有機物が核種移行に与える影響に関する研究

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、ガラス固化体から地下水に溶出した放射性核種は、さまざまな相互作用を行いながら拡散によって周辺母岩に移行すると考えられています。地下水中に存在する天然有機物は、放射性核種と結合することで、その移行挙動を大きく変えることが分かっています。表層環境の天然有機物については、金属イオンとの結合に関するモデルが提案されていますが、地層処分の安全評価においては、深部地下環境の天然有機物と核種との結合反応を評価し、表層環境の天然有機物と比較することで、両者の類似点や相違点を理解することが必要になります。本研究では、天然有機物の蛍光が金属イオンと結合することで消光されることに着目し、堆積岩系の深部地下水中の天然有機物を対象として、3

価アクチノイドのアナログ元素であるユウロピウム (Eu) を添加する消光実験を行ってきました。得られた実験結果から、多変量解析により結合反応に寄与する天然有機物を特定し、その物理・化学的性質や起源を明らかにすることに取り組んできています⁽⁶⁶⁾。令和 4 年度は、地下施設から掘削されたボーリング孔から地下水を採取し、地下水に含まれる天然有機物を抽出しました。今後は、抽出した天然有機物の質量分布を高分解能質量分析により明らかにし、これまでの実験結果と合わせて、結合反応に寄与する天然有機物の特定に取り組めます。本研究は、日本学術振興会の運営する科学研究費助成事業、基盤研究(B)「地下深部に存在する天然有機物の多様性と核種移行への影響解明」の助成を受けて実施しています。

② 微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法の開発

地下深部の地下水は、一般に酸素が消費されることで還元性になっており、幌延では微生物活動による二酸化炭素還元反応により強還元性が維持されています。一方で、地下施設から掘削された一部のボーリング孔では、酸素の無い環境にも関わらずメタン酸化機能を持つ微生物の存在が明らかにされてきました。本共同研究では、地下深部の強還元雰囲気において進行するメタン酸化反応機構の解明を目的として、実験室内において原位置の水質・水圧を模擬したメタン酸化微生物の培養試験を行いました。その結果、地下水中の懸濁物^{*86}に含まれる 3 価の鉄が微生物活動を介してメタンの酸化剤として機能していることが分かりました⁽⁶⁷⁾。一方で、大部分の微生物は地下水ではなく岩石部に存在していると考えられているため、岩石部の微生物活動を調べる必要があります。令和 3 年度から令和 4 年度にかけて、地上からのボーリング掘削により得られたコア試料のうち深度 210 m～320 m の試料を用いて、メタン酸化に関する微生物活動を調べました。その結果、いずれの深度においてもメタン酸化に関する微生物活動が検出されました。微生物活動は地下水中より岩石中の方が数桁高い活動度を示すことから、地下水と比べてより多くの微生物が岩石内部に生息していることが確認されました。

なお、上記の調査研究の一部は令和 4 年度夏期休暇実習として実施され、東京大学から 2 名の学生が参加しました。この他に地上からのボーリング

*86：水中に浮遊して溶解しない物質の総称です。浮遊物質とも呼ばれます。

調査の見学を通して高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する技術開発を学ぶことを目的として、東北大学、東海大学、長岡技術科学大学からそれぞれ1名の学生が参加しました。

東京大学・京都大学

近年、ベントナイトに含まれるモンモリロナイトが地下水と長期的に接触することで、モンモリロナイトの結晶構造中に含まれる鉄が3価 (Fe^{3+}) から2価 (Fe^{2+}) に還元される事例が報告されています。2価の鉄を含むモンモリロナイトに放射性核種が吸着された場合、一部の放射性核種は還元され、移行しづらい形態としてベントナイト中に保持されることが期待されます。本研究では、地下深部環境下におけるモンモリロナイトによる微量元素の還元反応メカニズムを明らかにするために、地下水と長期的に接触させたベントナイト中の鉄の化学形態に関する分析を実施しました。令和4年度は、250m調査坑道において地下水と1か月程度接触させたベントナイト試料と平成23年から約11年間接触させたベントナイト試料を対象に分析を実施しました。地下水と1か月程度接触させた試料ではモンモリロナイト中の鉄の還元は確認されませんでしたでしたが、約11年間接触させた試料ではモンモリロナイトに含まれる3価の鉄 (Fe^{3+}) が一部還元され、モンモリロナイト中の2価の鉄 (Fe^{2+}) の割合が上昇していることが確認されました。同様の反応は人工バリア性能確認試験にて設置したベントナイトブロックおよび埋め戻し材中에서도生じている可能性が考えられるため、ベントナイト中の鉄の化学形態分析は、人工バリア周辺で生じる化学現象を理解する上で重要な調査項目であることが明らかになりました。

名古屋大学

炭酸カルシウムを主成分とするコンクリーション化^{*87}による、水みちとなる割れ目や透水性空隙の自己シーリングに関する研究を行いました。この研究は、カルシウムイオン (Ca^{2+}) を放出する樹脂 (コンクリーション化剤) を岩盤中に充填し、コンクリーション化剤や坑道周辺に施工されたコンクリートから放出される Ca^{2+} と、地下水中の Ca^{2+} および重炭酸イオン (HCO_3^-) との反

*87：地層中の砂や泥の粒子の間に鉱物が急速に析出・沈殿して隙間を充填し、コンクリートのような硬い状態になることです。

応により形成される炭酸カルシウムが、水みちとなる割れ目や透水性空隙を閉塞するプロセスについて調査・解析を行うものです。この自然環境下での自発的コンクリーション化現象は、坑道周辺の水みちに対する長期的なバリア機能を有すると期待されます。

令和4年度は、掘削損傷領域を対象としてこれまでに実施してきた試験について、コンクリーション化剤を充填したボーリング孔の周辺岩盤における透水係数の測定を継続しました。周辺岩盤の透水係数は、令和2年度から令和3年度にかけて約1年間で2桁程度低下する（ 10^{-5} m/s 程度から 10^{-7} m/s 程度）という結果がこれまでに得られていました。その結果、令和4年8月に発生した地震により、透水係数が一時的に1桁程度上昇しましたが、その後再度低下し、地震発生前と同程度またはそれよりやや低い値を示すことが確認されました。また、水みち割れ目となる断層帯を対象とした試験に着手し、地下施設内で確認されている岩盤中の断層帯に向けてコンクリーション化剤を充填するとともに、透水性を定期的に測定しました。その結果、コンクリーション化剤の充填から3か月後には、断層を含む岩盤の透水係数が初期値より1桁低下し、 10^{-7} m/s 程度となったことが確認されました。

さらに、コンクリーション化剤にアルカリ性成分を放出する機能を持たせ、強酸性化を示す幌延の掘削ズリと混ぜ合わせることで、掘削ズリの中性化と透水性の低下を同時に達成する手法の開発にも取り組みました。室内試験の結果から、掘削ズリを充填したカラムに水を通水したところ pH が 4.5 程度の酸性を示すのに対し、中性化の機能を持たせたコンクリーション化剤と混合させた掘削ズリを用いた場合では pH が最大 9 程度まで上昇し、また通水性も低下することが確認されています。

京都大学

水質形成機構のモデル構築および数値解析に関する共同研究、および堆積岩を対象とした掘削損傷領域の透水性変化計測に関する研究を行いました。

① 水質形成機構のモデル構築および数値解析に関する共同研究

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全性を確保するためのひとつの要件として、長期的に地下水流動が緩慢であることを示すために、水理学的な指標のみではなく、化学的な指標から地下水水質の形成プロセス

を把握し、それに基づいた地下水流動状態の理解が試みられています。幌延町には海成堆積岩が広く分布し、地下深部には海水が変質した化石海水が分布しています。この化石海水の塩化物イオン濃度は海水の半以下まで低下し、酸素同位体比および水素同位体比も海水の値から変化しており、水質の変化の詳細な過程については明らかではありませんでした。本共同研究では、地層の堆積時の圧密排水による間隙水の上方移動や鉱物の相変化といった堆積過程を模擬した一次元のモデリングにより、地下水の塩化物イオン濃度と酸素同位体比および水素同位体比の時空間変化を推定することで、本地域に分布する化石海水の水質形成メカニズムについて検討しました。その結果、本地域の化石海水の水質は、地層の埋没に伴う温度上昇により生じる生物起源シリカや粘土鉱物の脱水反応の影響や、圧密排水により下位層から上方へ間隙水が押し出される影響により形成されたものであることが分かりました^(68, 69, 70)。このことは、本地域に分布する化石海水が形成された時期が地層の埋没時であることを示しており、地層の隆起以降はほとんど化石海水が動いていないことを示す結果になります。

② 堆積岩を対象とした掘削損傷領域の透水性変化計測に関する研究

岩盤の亀裂内における鉱物の析出による岩盤の透水性の変化の調査を目的として、350m 調査坑道において原位置試験を実施しました。坑道壁面から約1 m程度の深さのボーリング孔に、セメント系材料の粉末を注入した後に、令和2年度および令和3年度にかけて構築した原位置実験手法により炭酸水を連続注入し、岩盤の亀裂内部の炭酸カルシウムの析出を促進させ、岩盤の透水性の変化を促す実験を行いました。実施期間中に定期的に透水試験により変化を把握するとともに、実験終了後は実験で使用したボーリング孔をオーバーコアリング^{*88}し、炭酸水注入位置周辺の岩石試料を観察しました。

京都大学、東北大学

地下水中の微量元素と有機物を対象とした地球化学研究を行いました。高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核種であるマイナーアクチノイドは、天然には存在しないため、堆積岩地域の地下深部におけるマイナーアクチノ

*88：掘削したボーリング孔に樹脂などを充填した後に、そのボーリング孔を含むように再度ボーリング孔を掘削して、試料を採取することです。

イドの挙動の理解をするためには、マイナーアクチノイドと挙動が似ているランタノイド^{*89}の挙動を調べるのが有効になります。本研究ではこれまでに、3 価アクチノイドであるアメリシウムやキュリウムの挙動を明らかにするため、ランタノイドであるランタン、サマリウム、ユウロピウム、ホルミウムなどを用いた試験を行ってきました⁽⁷¹⁾。令和 4 年度は、原位置物質移行試験の結果に対して、マイナーアクチノイド元素と地下深部の岩石、地下水試料を用いた室内拡散試験の結果を組み合わせることで地下環境での核種移行を明らかにすることをねらいとし、室内拡散試験の計画立案に取り組みました。室内試験ではランタノイドに加え、原位置試験では使用できないウラン、トリウム、ネプツニウム、アメリシウムなどのアクチノイドを用いて、還元雰囲気における堆積岩中のアクチノイドの拡散挙動に対する地下水のイオン強度や pH、有機物濃度、溶存炭酸濃度の影響を明らかにすることを検討しました。

幌延地圏環境研究所

両機関の試験設備を活用した研究協力として、堆積岩の地下深部の微生物の生態系の把握および地下施設の建設に伴う微生物生態系への影響などの調査を目的として、これまでに地下施設を利用して微生物に関するデータを取得してきました。令和 4 年度は、幌延町の地下深部に存在する微生物群集の構造を規定する要因を明らかにするために、地下施設から掘削されたボーリング孔から地下水試料を採取し、地下水から単離した微生物の特徴付けを行いました。また、2 回の研究交流会を実施し、深度 350 m とは異なる深度 500 m の岩盤における微生物特性や力学特性などの情報を得ることに両機関が協力していくことについて議論しました。

産業技術総合研究所

海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得手法の高度化を目的として、幌延町沿岸部において海上物理探査を実施しました。また、幌延町浜里地区に雨量計を設置し、雨量データを取得するとともに、幌延町内にある観測井を利用して水位データの取得を取得しました。

*89：ランタノイドは、原子番号57のランタン (La) から71のルテチウム (Lu) までの15元素の総称です。

その結果、海上物理探査においては、過去の研究において確認された沿岸部陸域におけるラグーン（外海から隔てられた水深の浅い水域）堆積物の連続性を、海底下の地層においても確認することができました。また、海底下における地層の不連続面も複数確認することができました。観測井を利用した水位観測データからは、浜里地区の深度 95 m、141 m、342 m の井戸において潮汐応答と考えられる水位変動が認められ、地層の水理定数（水頭拡散率）を概算することができました。一方、下沼地区の深度 14 m および 71 m の井戸でもわずかながら潮汐に応答する変動が確認されましたが、変動量が微小であったため、水理定数の概算には至りませんでした。

電力中央研究所

地下施設建設時に周辺地質環境の初期状態と建設に伴う変化を観測し、施設建設に関わる影響領域の空間分布とその経時変化、変化のプロセスに関わる基礎的知見を得ることが重要であることから、地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術の高度化を図ることを目的として、継続的に共同研究を実施してきています。令和 4 年度は令和 3 年度までに引き続き、坑道掘削に伴う周辺岩盤への力学的な影響を把握するための調査として、140m および 250m 調査坑道において比抵抗トモグラフィや坑壁付近における風化状況の調査を行いました。また、調査の結果を検証するために、250m および 350m 調査坑道において乾式ボーリング掘削を実施し、得られたコア試料を用いた分析を行いました。採取したコア試料を用いた浸出試験の分析結果から、吹付けコンクリートのない岩盤表層の深度数 cm の範囲において、岩石中の黄鉄鉱の酸化に伴う硫酸の生成による、pH の低下や電気伝導度の上昇が捉えられました。

地下環境に存在する微生物の中には、鉄の酸化や還元反応を行う種が確認されており、これらの微生物は人工バリアのひとつであるオーバーパックスの腐食に影響を及ぼす可能性があります。本研究では、微生物腐食の影響を定量的に評価するために、地下施設で掘削したボーリング孔を利用して、地下環境下における緩衝材中の微生物活性や金属腐食影響を評価します。令和 4 年度は、250m 調査坑道の調査用ボーリング孔内に設置した圧縮ベントナイトおよび炭素鋼片の試験体の一部を回収し、炭素鋼片の腐食やベントナイト中

の微生物特性について分析を行いました。その結果、圧縮ベントナイト密度が低い条件下では、炭素鋼試験片の重量の減少が大きく、微生物量も増加していましたが、密度が高い条件では炭素鋼の減少量は小さく、微生物活性も抑制されていることが確認されました。今後も引き続き腐食影響試験を継続し、ベントナイト中の微生物活性や炭素鋼の腐食挙動について検討を行います。

原子力規制庁（原子力機構 安全研究センターとの共同研究への協力）

地下坑道掘削後の湧水量の自然低下について、岩盤中の割れ目の水理学的連結性を考慮した自然低下量のシミュレーション結果と実際の自然低下量を比較するために、350m 調査坑道沿いの流量計測を行いました。その結果、掘削から10年が経過した現在の自然低下量は、シミュレーション結果の値と同程度またはそれ未満であることが分かりました。今後、この結果について、より詳細な検討を行う予定です。

深田地質研究所、東京大学（原子力機構 東濃地科学センターとの共同研究への協力）

断層の地表分布位置および物質移動経路に関する情報を取得する調査手法として、地表地質調査や物理探査に加えてガス濃度に関する情報を取得する調査手法があります。断層の地表部において微量なガスの湧出が見られることがあり、この湧出ガスを検出することにより、断層分布に関する情報が得られます。近年、ガス濃度測定技術の大幅な向上により、従来の測定技術では検出することができなかつた小さな変化まで迅速に検出することが可能になっています。本研究では、地表から特定することが困難な伏在断層や地下水の流動経路（水みち）の検出精度の向上を目的として、新たなガス濃度測定技術の適用性の検討を行っています。これまでに幌延町内の大曲断層の地表部のみならず背斜軸上にガスの移行経路が存在することが確認されました。

令和4年度は、高精度メタン測定装置を用いて、幌延町内の背斜軸上の5地点におけるメタンガス濃度分布を測定しました。その結果、いずれの地点においても高濃度のメタンガスが検出されました⁽⁷²⁾。今後は高濃度メタンガスが確認された地点における地下の地層の構造を、簡易な物理探査により明

らかにしていきます。引き続きデータを拡充することで、新たな測定技術の適用性の検討に取り組みます。本研究は、日本学術振興会の運営する科学研究費助成事業、基盤研究(C)「高分解能ガス濃度マッピングによる亀裂・断層を移行する流体の新しい調査手法の構築」の助成を受けて実施しています。

11.2 国外機関との研究協力

DECOVALEX (DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments)

国際共同研究 DECOVALEX は、地層処分環境における熱-水理-力学-化学連成現象の理解および評価モデルの検証を目的に実施されています。令和2年度からはDECOVALEX-2023（令和2年度～令和5年度）が実施されており、このフェイズではタスクのひとつとして、人工バリア性能確認試験を対象とした共同解析を実施しています。令和4年度は、解析モデルの作成に着手しました。今後は、解析モデルや解析パラメータの違いが、緩衝材中の温度、飽和度、応力分布などの解析結果にどのような影響を及ぼすのかを確認します。

モンテリ・プロジェクト^{*90}（スイス）

国際共同研究のモンテリ・プロジェクトで実施されている各種試験のうち、原子力機構は「オパリナス粘土^{*91}の摩擦特性に関する室内試験」に参加しています。令和4年度は、断層すべり、間隙水圧、流体化学および流体移動間の複合的な関係性を評価するための試験が継続されました。これらの試験で得られた成果は、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証などに反映していきます。

クレイクラブ（Clay Club）^{*92}

クレイクラブでは各国の参加機関との情報交換を通じて、国外における堆

*90：堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

*91：オパリナス粘土（オパリナスクレイ）は、1億7,500万年前（ジュラ紀）に形成された粘土鉱物です。スイスをはじめヨーロッパに広く分布しています。

*92：Clay Clubは、OECD/NEA（経済協力開発機構/原子力機関）の放射性廃棄物管理委員会の下に置かれたプロジェクトのひとつです。地層処分の実施・規制・研究機関を中心とした組織であり、様々な粘土質媒体の特性の比較や粘土の物性や挙動および地下施設で実施される試験に関する技術的かつ科学的情報の交換、さらには、サイト特性調査技術の詳細な評価を実施しています。

積岩類を対象とした調査研究や技術開発などに係る最新の情報を取得しました。

幌延国際共同プロジェクト (Horonobe International Project : HIP) ^{*93}

幌延国際共同プロジェクト (HIP) は、先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究開発の成果の最大化を目的に、国内外の機関で協力しながら研究開発を進めるものです。

HIP では、令和 10 年度末までを限度として、令和 2 年度以降の必須の課題のうち、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認および処分概念オプションの実証に関わる以下の 3 つのタスクを設定しました。

タスク A : 物質移行試験

タスク B : 処分技術の実証と体系化

タスク C : 実規模の人工バリアシステム解体試験

令和 4 年度は、OECD/NEA の協力のもと、幌延国際共同プロジェクトの立ち上げに向けて複数回の準備会合を行い、プロジェクトの内容や実施分担などについて議論を行いました。各タスクの具体的な内容として、タスク A では、水理地質構造に関する情報を取得し、タスク B では、既存情報の整理を行い、500m 調査坑道において想定される状況について検討するとともに、一連の操業技術の実証に向けた関連情報の整理や要素技術の試験を行います。タスク C では、これまでの取得情報をもとに、人工バリア性能確認試験の解体調査の詳細化に向けた検討を行います。

また、上記の研究を実施するにあたり、放射性廃棄物を持ち込まないことや、放射性廃棄物の最終処分の実施主体に譲渡・貸与しないことなど、「幌延町における深地層の研究に関する協定書」に関わる条項を加えた HIP の協定書の内容について令和 4 年 10 月 31 日に基本合意がなされ、令和 5 年 2 月 8 日に協定が発効し、HIP を開始しました。

令和 5 年 3 月 31 日現在、協定書に署名した機関は、連邦放射性廃棄物機関 (BGE、ドイツ)、英国地質調査所 (BGS、英国)、工業技術研究院 (ITRI、台湾)、韓国原子力研究所 (KAERI、韓国)、原子力テクノロジー国営会社 (RATEN、ルーマニア) および原子力機構の 6 機関です。各機関の参加タスク

*93 : HIPホームページ (英語) ; <https://www.jaea.go.jp/english/04/horonobe/IJP/HIP/index.html>

を表 15 に示します。

表 15 HIP 参加機関（令和 5 年 3 月 31 日現在）

参加機関（令和 5 年 3 月 31 日現在）	タスク A	タスク B	タスク C
連邦放射性廃棄物機関（BGE、ドイツ）	○	○	○
英国地質調査所（BGS、英国）	○	○	○
工業技術研究院（ITRI、台湾）	○	—	—
日本原子力研究開発機構（JAEA、日本）	○	○	○
韓国原子力研究所（KAERI、韓国）	○	○	○
原子力テクノロジー国営会社（RATEN、ルーマニア）	○	—	—

参考資料

令和2年度以降の研究工程

1.1 人工バリア性能確認試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間														
					前半					後半									
<p>実際の地質環境下における処分孔設置方式を対象とした熱-水-応力-化学連成現象（ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時を模擬した現象）に関する試験をとおして、設計や連成挙動評価手法の適用性の確認（人工バリアの解体調査および緩衝材の飽和度の確認を含む）、ならびに施工方法などの工学的実現性の例示等を行い、設計、施工および評価・解析といった一連の技術に関する基礎情報を整備する</p> <p>これらをとおして、廃棄体埋設後において、廃棄体周辺で起こる現象の理解を深め、安全評価において前提としている環境条件が達成されること確認するとともに、その予測技術を確立することで、人工バリアの設計に反映する</p>	<p>③④ 熱-水-応力-化学連成現象（ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時を模擬した現象）の評価手法（モデル化・解析手法）の確立</p>	<p>④ 浸潤時・減熱時のデータを含め、ガラス固化体設置以降の加熱・浸潤時・減熱時を全て模擬したデータに基づく熱-水-応力-化学連成現象のモデルの高度化、及び浸潤時の実際の飽和度などの確認（解体調査による）</p>	<p>④-1 注入する地下水の圧力や量を増加させ緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ（浸潤時・減熱時）を取得、連成モデルの適用性確認</p>	<p>R5は実施しない</p>	<p>前半の5年程度で実施</p> <p>体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施</p>														
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	<p>④-1 浸潤時・減熱時のデータ取得・連成モデルの適用性確認</p>					
					<p>緩衝材の温度低下を確保</p>					<p>発熱がおさまった条件下での試験に移行</p>					<p>令和4年度までに得られる成果 減熱過程における ○緩衝材で生じる連成現象の把握 ○解析用パラメータの整理 ○熱-水理-力学連成解析モデルの適用性の確認</p>				
					<p>国際プロジェクト（DECOVALEX等）における解析コード間の比較検証、改良・高度化</p>					<p>国際プロジェクトでの解析コード間の比較検証、改良・高度化</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>				
<p>④-2 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施する</p>					<p>R5は実施しない</p>	<p>④-2 人工バリアの解体作業、緩衝材の飽和度の確認</p>													
<p>試験では、埋め戻し材、プラグ、人工バリア設置、注水開始</p>						<p>試験を行い、緩衝材の模擬オーバーパックの出し手を確認</p>					<p>解体調査を計画し、作業方針および手順・サンプリング方法の決定</p>								
<p>令和5年度までに得られる成果 ○各国の解析コード間の比較検証を通じた解析コードの有効性の確認</p>						<p>令和4年度までに得られる成果 ○人工バリアの解体作業の方針及び施工手順・方法の決定</p>					<p>令和9年度までに得られる成果 ○人工バリア周辺における連成現象の実データの取得</p>								
<p>試験では、埋め戻し材、プラグ、人工バリア設置、注水開始</p>						<p>試験を行い、緩衝材の模擬オーバーパックの出し手を確認</p>					<p>解体調査を計画し、作業方針および手順・サンプリング方法の決定</p>								

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。
 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。
 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

1.2 物質移行試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間										
					前半					後半					
<p>幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布することが知られているため、岩盤基質部（＝健岩部）における拡散および割れ目（掘削損傷領域などの人為的な割れ目も含む）を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられる</p> <p>有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられるが、割れ目を有する堆積岩での物質移行経路や形態と物質移行に与える要因（有機物・微生物・コロイド等）を総合的に評価することが必要</p> <p>そのために、幌延の泥岩を事例として、岩盤基質部（＝健岩部）および割れ目の双方を対象とした原位置トレーサー試験等を実施し、それぞれの構造の物質移行特性評価手法を構築することが重要</p> <p>世界的にも事例が少ない泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法を確立することも重要</p> <p>あわせて、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握することが重要</p>	<p>① 岩盤基質部（＝健岩部）を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>② 割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>③ 泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の検証</p> <p>④ 掘削損傷領域などの人為的な割れ目を対象とした物質移行特性（物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等）の評価手法の検証</p> <p>⑤ 有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立</p>	<p>④ 掘削損傷領域の物質移行手法の確立</p> <p>⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立</p>	<p>確立した試験手法を用いて掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動することを確認する。また、物質移行評価手法の高度化するため以下を実施</p> <p>④ 確立したトレーサー試験手法を用いた掘削損傷領域での物質移行に関するデータ取得</p> <p>⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験</p> <p>⑥ 割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削損傷領域を含むブロックスケール（数m～100m規模）における遅延性能評価手法の整備</p>	<p>④ 過年度の掘削損傷領域を対象としたトレーサー試験の解析評価</p> <p>⑤ 有機物・微生物・コロイドが核種移行に及ぼす影響の現象理解の継続、原位置トレーサー試験の継続</p> <p>⑥ 過年度に実施した稚内層深部のブロックスケールを対象としたトレーサー試験の解析評価および声問層のブロックスケールにおける遅延性能評価手法の整備に係るポーリング調査</p>	<p>前半の5年程度で実施</p>	<p>体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施</p>	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	④ 掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確立					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施									
	掘削損傷領域の水領域の物質移行特性性を評価するためのデータを取得					掘削損傷領域の物質移行特性性を評価するためのデータを取得					令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ（非収着性/収着性トレーサー）の取得 ○EDZにおけるモデル化/解析評価手法の提示				
	室内試験データ（地中、水中、有機物のサイズ分布等）の取得					原位置試験の準備として掘削・装置の設置、基礎データの取得					令和6年度までに得られる成果 ○室内試験データの拡充 ○有機物・微生物・コロイドの影響を考慮した物質移行モデルの提示				
	原位置試験の準備として掘削・装置の設置					稚内層深部断層の物質移行特性に関するポーリング調査					令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ（非収着性/収着性トレーサー）の取得 ○幌延を事例としたブロックスケールの評価手法の提示				
	原位置試験の準備として掘削・装置の設置					稚内層深部断層の物質移行特性に関するポーリング調査					令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ（非収着性/収着性トレーサー）の取得 ○幌延を事例としたブロックスケールの評価手法の提示				

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。

「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間														
					前半					後半									
処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する	① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証 ② 個別の要素技術の実証試験 ③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立	①②③ 操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証	注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握する。また、埋め戻し方法（プラグの有無等）・回収方法による埋め戻し材の品質の違いを把握する。 ① 搬送定置・回収技術の実証（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示） ② 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証	① 地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析の継続、実際の地下施設に施工されているコンクリート支保工の劣化挙動等の評価 ② 閉鎖システム（埋め戻し材やプラグなど）に関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、室内試験および原位置試験の継続 ③ 緩衝材の膨出挙動に関する調査、埋め戻し材の施工効率に関する要素試験への着手と施工品質を確認するための計測技術の高度化	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施									
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					
					① 搬送定置・回収技術の実証					地下環境でのコンクリートの劣化に関する試験を開始					乾燥および湿潤条件でのコンクリートの中性化の程度の違いを確認				
② 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証					閉鎖システムに関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、室内試験、工学規模試験を実施					閉鎖システムに関する基盤情報の整備を目的とした解析検討、室内試験、原位置試験を実施					令和6年度までに得られる成果 ○シーリングシステムの長期性能評価に関する考え方の整理 ○緩衝材の膨潤挙動に影響を与える事象の整理 ○止水プラグの施工に関する重要技術の抽出 ○EDZ調査技術の評価・高度化 ○坑道内からのボーリング孔に対するシーリング技術の整備・実証				
③ 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築（(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験とあわせて実施）					③ 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					令和6年度までに得られる成果 ○緩衝材の施工方法に関する技術オプションの実証 ○坑道閉鎖に関する技術オプションの実証				

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。
 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

2.1 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験

2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間								
					前半		後半						
・処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する ① 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証 ② 個別の要素技術の実証試験 ③ 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立	④ 廃棄体の設置方法等の実証試験を通じた、坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化	人工バリアの品質を踏まえて、これまで実証してきた要素技術を体系的に適用し、廃棄体の設置方法（間隔など）を確認するため以下を実施 ④-1 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化 ④-2 先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策技術を考慮した、地下施設及び人工バリアの設計評価技術の体系化 ④-3 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術の整備、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の整備 ④-4 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理	後半の5年程度で実施するため、R5は実施しない	ー 他の研究課題を取り込んで体系化して取り組む課題として、後半の5年程度で実施									
				R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
									④-1				
										④-2			
											④-3		
								④-4					

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

	個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。
	「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

2.2 高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間											
					前半					後半						
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10			
<p>人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を検証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する</p> <p>実際の処分事業では、オーバーバックが100℃以下になってから処分することが基本であるが、想定外の要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する</p>	<p>① 100℃超の高温での限界的環境が人工バリアに与える影響と上限温度設定の考え方の整備、解析的な検討</p>	<p>① 高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験による緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発</p>	<p>人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法を開発するため以下を実施</p> <p>①-1 高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験</p>	<p>①-1 高温条件下での人工バリアの挙動に関する原位置試験に着手</p>	<p>前半の5年程度で実施</p> <p>体系化して取り組む課題((2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施</p>											
					<p>①-1 限界的条件下での人工バリア性能確認試験の解析・検討</p>					<p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>						
					<p>海外での原位置試験の情報(試験条件、手法等)を入手</p>	<p>先行研究事例を踏まえ課題の抽出</p>	<p>調査事例を抽出、原位置試験の概念検討・計画策定</p>								<p>令和6年度までに得られる成果 ○高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験データの収集</p>	
			<p>①-2 100℃超になった際にニアフィールド(人工バリアとその周辺岩盤の領域)において発生する現象の整理</p>	<p>①-2 シナリオ整理の継続、ニアフィールド構成材料を対象とした試験、分析</p>	<p>①-2 100℃超になった際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理</p> <p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>											
					<p>シナリオの検討に着手(水分移動、物質移動特性)</p>	<p>先行研究事例の調査結果を踏まえ課題の抽出</p>	<p>100℃超での人工バリアの基本特性に係るシナリオ整理、ニアフィールドを対象とした熱解析</p>									<p>令和6年度までに得られる成果 ○100℃超になった際にニアフィールドにおいて発生する現象の整理</p>
			<p>①-3 ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示(国際プロジェクト情報を収集し、発生する現象を整理)</p>	<p>①-3 海外の原位置試験に関する情報取得の継続</p>	<p>①-3 ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示</p> <p>体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施</p>											
					<p>海外での原位置試験の情報(試験開始時のデータ等)を入手</p>	<p>海外での原位置試験の情報(試験開始時のデータ等)を入手</p>	<p>海外での原位置試験の情報(最高温度での加熱時のデータ等)を入手</p>									<p>令和6年度までに得られる成果 ○ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方の提示</p>
<p>※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。</p> <p>※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。</p>					<p>個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」)に統合して実施する。</p> <p>「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。</p>											

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間										
					前半					後半					
<p>岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものの中には処分場に取り込まざるを得ない可能性がある。それらの断層が地震や隆起などの地殻変動の影響を受けた場合に、その透水性がどの程度まで上昇し得るかを検討しておく必要がある</p> <p>断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、延性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生じる変形が脆性的か延性的かは、変形時の岩石強度、応力などに依存する</p> <p>本研究では、地殻変動に対する緩衝能力が潜在的に高いことから堆積岩に重点を置き、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測でき、かつマッピング（空間的な分布図を示すこと）が可能なパラメータで指標化することを試みる。そのようなパラメータと断層の透水性の潜在的な上限を関係付けることができれば処分場閉鎖後の断層の透水性について現実的な状態設定が可能となる</p> <p>断層は動いたとしても、その透水性は、地層の力学的な緩衝能力が働くことにより、一定の値を超えない。この現象を定量的に示したい</p>	<p>①地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力を表現するパラメータ（指標）の提案</p> <p>②水圧擾乱試験によるパラメータの有効性の検証</p>	<p>②地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握</p>	<p>断層の幅が数十 cm の断層における地震動や坑道掘削に伴う、割れ目における地下水の流れの変化に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）を実証するために、以下の検討や試験を実施する</p> <p>②-1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握（ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験）</p> <p>②-2 DI（ダクティリティインデックス：岩盤にかかる平均応力を引張強度で割った値）を用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備</p> <p>②-3 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備</p>	<p>②-1～3 既往の水圧擾乱試験の結果の解析</p> <p>②-1～3 DI と断層/割れ目の水理学的連結性の関係に関する解析</p>	前半					後半					
					前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施					
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施	
					②-1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握					令和6年度までに得られる成果 ○ボーリング孔を用いた水圧擾乱試験データの取得					
					②-2 DI を用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					
					割れ目の水理学的連結性の領域区分に遷移領域を追加					令和6年度までに得られる成果 ○DIを用いた透水性評価手法の高度化					
②-3 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施										
より大型の断層を対象とした水圧擾乱試験の実施し、データを取得					令和6年度までに得られる成果 ○水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の整備										

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。

※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

■ 個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。

□ 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

3.1 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

3.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間									
					前半					後半				
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域に相当と仮定）の分布を把握することは、処分事業における処分場選定の際に有用な情報になり得る。このため、地上からの調査により、化石海水の三次元分布を評価する既存技術の高度化を図る	③ 地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）を調査・解析・評価する手法の確立 ④ 三次元分布を調査・解析・評価する手法の確立	③④ 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化	地下水が動いていない環境を調査してモデル化する技術を実証するため以下を実施 ③ 地下水の流れが非常に遅い領域（化石海水領域）の調査・評価技術の検証 ④-1 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証 ④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）	③、④-1 R4までの成果に基づき、物理探査およびボーリング調査によるデータ取得から地球統計学的手法による化石海水領域の三次元分布の推定に至る一連の手法の整理と、これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備 ④-1 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の検証 ④-2 広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の検証	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施				
					③ 地下水の流れが非常に遅い領域の調査・評価技術の検証					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
					化石海水領域を把握するための物理探査を実施し、比抵抗分布を推定					R3に掘削したボーリング孔の延長による水質などのデータ追加とR2に推定した化石海水分布の妥当性確認				
					令和6年度までに得られる成果 ○化石海水領域の調査・評価技術の整備・高度化					令和6年度までに得られる成果 ○化石海水の三次元分布に係る調査・評価技術の整備・高度化				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					広域スケールの地下水流動に深さ・気候などが与える影響を整理					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法を整理				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					化石海水領域に与える影響を評価するための広域スケールのモデル化・解析手法の整理と、これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					広域スケールの地下水流動に深さ・気候などが与える影響を整理					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法を整理				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					化石海水領域に与える影響を評価するための広域スケールのモデル化・解析手法の整理と、これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					広域スケールの地下水流動に深さ・気候などが与える影響を整理					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法を整理				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					化石海水領域に与える影響を評価するための広域スケールのモデル化・解析手法の整理と、これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					広域スケールの地下水流動に深さ・気候などが与える影響を整理					地球統計学的解析による化石海水領域の三次元分布推定に係る一連の手法を整理				
④-2 広域スケール（十数km×十数km）を対象とした水理・物質移動評価手法の検証（地下水滞留時間）評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析）					化石海水領域に与える影響を評価するための広域スケールのモデル化・解析手法の整理と、これまでに得られた成果の論文投稿や研究開発報告書類の整備					体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施				

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。
 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。
 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

目的・背景・必要性・意義	課題	R2以降の課題	R2以降の実施内容	R5の実施内容	研究期間																			
					前半					後半														
地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力（自己治癒能力）を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する	① 人工バリアの緩衝材や坑道の埋め戻し材による掘削損傷領域（EDZ）のひび割れの自己治癒能力を評価する手法の確立 ② 人工バリアの自己治癒能力（ひび割れの修復）を実証	② 地殻変動による人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材の掘削損傷領域（EDZ）への自己治癒能力の実証	人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を実証するため以下の机上検討を実施 ② 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削損傷領域（EDZ）の力学的・水理学的な緩衝能力（自己治癒能力）に与える影響を把握する解析手法の開発 ✓ DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証	R5は実施しない	前半の5年程度で実施					体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施														
					R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施										
②-1 DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証 試料観察に基づき、EDZの割れ目開口状況を定量的に把握					水圧擾乱試験やシミュレーションの結果に基づき、EDZの透水性を改良					令和4年度までに得られる成果 ○DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証														
✓ 坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築					R5は実施しない					②-2 坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築 試料観察に基づき、EDZの割れ目開口状況を定量的に把握					埋め戻し材の膨潤圧がEDZの透水性に与える影響の評価手法を構築					令和4年度までに得られる成果 ○坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築				
※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直ししていく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。					個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題（「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」）に統合して実施する。 「2.1.2 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。																			

参考文献

- (1) 中山雅（編）：幌延深地層研究計画 令和 4 年度調査研究計画，JAEA-Review 2022-026，2022，66p.
- (2) Ishii, E.: The highest potential transmissivities of fractures in fault zones: Reference values based on laboratory and in situ hydro-mechanical experimental data, *Engineering Geology*, vol.294, 2021, 106369.
- (3) Ozaki, Y., Ishii, E. and Sugawara, K.: Variation in fault hydraulic connectivity with depth in mudstone: An analysis of poroelastic hydraulic response to excavation in the Horonobe URL, *Geomechanics for Energy and the Environment*, vol.31, 2022, 100311.
- (4) Ishii, E.: Assessment of hydraulic connectivity of fractures in mudstones by single-borehole investigations, *Water Resources Research*, 54, 5, 2018, pp.3335-3356.
- (5) Ishii, E.: Constant-head step injection tests to quantify the stress dependence of fracture transmissivity in an excavation damaged zone: A case study from the Horonobe Underground Research Laboratory, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol.159, 2022, 105229.
- (6) Aoyagi, K. and Ishii, E.: A method for estimating the highest potential hydraulic conductivity in the excavation damaged zone in mudstone, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol.52, 2019, pp.385-401.
- (7) 核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ 分冊 2 地層処分の工学技術，JNC TN1400 99-022，1999，703p.
- (8) 中山雅，松崎達二，丹生屋純夫：幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験－大口徑掘削機の開発、模擬オーバーパック、緩衝材および埋め戻し材の製作－，JAEA-Research 2016-010，2016，57p.
- (9) 中山雅，大野宏和：幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験－350m 調査坑道における人工バリアの設置および坑道の埋め戻し－，JAEA-Research 2019-007，2019，132p.
- (10) 中山雅，雑賀敦（編）：幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告，JAEA-Review 2020-042，2021，116p.
- (11) Börgesson, L. and Hernelind, J.: Coupled thermo-hydro-mechanical

- calculations of the water saturation phase of a KBS-3 deposition hole, SKB Technical Report TR-99-41. 1999, SKB, Stockholm.
- (12) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター: 令和 3 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] ニアフィールドシステム評価確証技術開発 報告書, 2022, 510p.
- (13) Kirishima, A., Kuno, A., Amamiya, H., Kubota, T., Kimuro, S., Amano, Y., Miyakawa, K., Iwatsuki, T., Mizuno, T., Sasaki, T. and Sato, N.: Interaction of rare earth elements and components of the Horonobe deep groundwater, *Chemosphere*, vol.168, 2017, p.798-806.
- (14) Kirishima, A., Terasaki, M., Miyakawa, K., Okamoto, Y. and Akiyama, D.: Deep groundwater physicochemical components affecting actinide migration, *Chemosphere*, vol.289, 2022, 133181.
- (15) Funaki, H., Ishii, E. and Tokiwa, T.: Evaluation of the role of fractures as the major water-conducting features in Neogene sedimentary rocks. *Journal of the Japan Society of Engineering Geology*, 50, 2009, pp.238-247.
- (16) Ishii, E.: Estimation of the highest potential transmissivity of discrete shear fractures using the ductility index. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 100, 2017, pp.10-22.
- (17) Ishii, E., Sanada, H., Funaki, H., Sugita, Y. and Kurikami, H.: The relationships among brittleness, deformation behavior, and transport properties in mudstones: An example from the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 116, 2011, B09206.
- (18) Tokiwa, T., Tsusaka, K., Ishii, E., Sanada, H., Tominaga, E., Hatsuyama, Y. and Funaki, H.: Influence of a fault system on rock mass response to shaft excavation in soft sedimentary rock, Horonobe area, northern Japan. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48, 2011, pp.773-781.
- (19) 中山雅 (編): 幌延深地層研究計画 令和 3 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2022-025, 2022, 164p.
- (20) Kurikami, H., Takeuchi, R. and Yabuuchi, S.: Scale effect and heterogeneity of hydraulic conductivity of sedimentary rocks at Horonobe URL site, *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 2008, pp.S37-S44.
- (21) Nakata, K., Hasegawa, T., Oyama, T. and Miyakawa, K.: Evaluation

of $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of water in pores extracted by compression method-effects of closed pores and comparison to direct vapor equilibration and laser spectrometry method, *Journal of Hydrology*, 561, 2018, pp.547-556.

- (22) Ito, M., Tonioka, N., Uesugi, M., Yamaguchi, A., Shirai, N., Ohigashi, T., Liu, M-C., Greenwood, R.C., Kimura, M., Imae, N., Uesugi, K., Nakato, A., Yogata, K., Yuzawa, H., Kodama, Y., Tsuchiyama, A., Yasukate, M., Findlay, R., Franchi, I.A., Malley, J.A., McCain, K.A., Matsuda, N., McKeegan, K.D., Hirahara, K., Takeuchi, A., Sekimoto, S., Sakurai, I., Okada, I., Karouji, Y., Arakawa, M., Fujii, A., Fujimoto, M., Hayakawa, M., Hirata, N., Honda, R., Hosoda, C., Iijima, Y., Ikeda, H., Ishiguro, M., Ishihara, Y., Iwata, T., Kawahara, K., Kikuchi, S., Kitazato, K., Matsumoto, K., Matsuoka, M., Michikami, T., Mimasu, Y., Miura, A., Mori, O., Morota, T., Nakazawa, S., Namiki, N., Noda, H., Noguchi, R., Ogawa, N., Ogawa, K., Okada, T., Okamoto, C., Ono, G., Ozaki, M., Saiki, T., Sakatani, N., Sawada, H., Senshu, H., Shimaki, Y., Shirai, K., Sugita, S., Takei, Y., Takeuchi, H., Tanaka, S., Tatsumi, E., Terui, F., Tsukizaki, R., Wada, K., Yamada, M., Yamada, T., Yamamoto, Y., Yano, H., Yokota, Y., Yoshihara, K., Yoshikawa, M., Yoshikawa, K., Fukai, R., Furuya, S., Hatakeda, K., Hayashi, T., Hitomi, Y., Kumagai, K., Miyazaki, A., Nishimura, M., Soejima, H., Iwamae, A., Yamamoto, D., Yoshitake, M., Yada, T., Abe, M., Usui, T., Watanabe, S., and Tsuda, Y.: A pristine record of outer Solar System materials from asteroid Ryugu's returned sample, *Nature Astronomy*, 6, 2022, pp.1163-1171.
- (23) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイト選定に向けたセーフティケースの構築—, TR-20-03, 2021, 807p.
- (24) 三原守弘, 佐藤信之, 大野進太郎, 森川誠司, TRU 廃棄物地層処分施設の力学挙動解析コード (MACBECE) の開発, JAEA-Data/Code 2009-026, 2010, 114p.
- (25) 秋山吉弘, 寺田賢二, 山田淳夫：地下空洞型処分施設施工技術の確証試験の概要, 原環センター技術報告書, RWMC-TRJ-15001, 2016, 117p.
- (26) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター：令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] 地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書, 2021, 569p.
- (27) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター：令和

- 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] 地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書, 2023.
- (28) 中安昭夫, 道家涼介, 新里忠史, 卜部厚史, 小野映介: Evidential Support Logic を用いた調査・解析結果の不確実性評価—隆起速度の算出に関する調査・解析の事例—, 情報地質, 第 25 巻, 第 4 号, 2014, pp.189-203.
- (29) 若松尚則, 渡辺邦夫, 高瀬博康, 松井裕哉: 水理地質に関わる地下環境影響評価への Evidential Support Logic の適用, 応用地質, Vol48, No.1, 2007, pp.2-14.
- (30) Hall, J. W., Blockley, D.I. and Davis, J. P, Uncertain inference using interval probability theory. International Journal of Approximate Reasoning, vol.19, 1998, pp.247-264.
- (31) 日本原子力研究開発機構, 原子力環境整備促進・資金管理センター: 令和 4 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] 地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書, 2023.
- (32) Hvorslev, M. T.: Time lag and soil permeability in ground-water observations, U.S. Army Waterways Experiment Station, Bull No.36, 1951, 50p.
- (33) Jacob, C.J. and Lohman, S.W.: Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer, Trans. American geophysical Union, vol.33, no.4, 1952, pp.559-569.
- (34) Sandén, T., Nilsson, U., Johannesson, L., Hagman P. and Nilsson, G.: Sealing of investigation boreholes Full scale field test and large-scale laboratory tests, SKB TR-18-18, 2018.
- (35) 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイト選定に向けたセーフティケースの構築—付属書 4-55, NUMO-TR-20-03, 2021, 3p.
- (36) 炭山守男: 土壌埋設鋼材の長期腐食挙動に関する研究(XI), JNC TJ8400 99-042, 1999, 203p.
- (37) Pusch, R.: On the effect of hot water vapor on MX-80 clay, SKB Technical Report TR-00-16, 2000, 41p.
- (38) 日本原子力研究開発機構: 平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム化学影響評価高度化開発—6 ヶ年研究成果の取りまとめ—, 2013.
- (39) 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—付属書 4-40, NUMO-TR-20-03, 2021, 17p.

- (40) Huang, W.L., Longo, J.M. and Pevear, D.R.: An experimentally derived kinetic model for smectite-to-illite conversion and its use as a geothermometer, *Clays and Clay Minerals*, vol.41, 1993, pp.162-177.
- (41) Eberl, D. and Hower, J.: Kinetics of illite formation, *Geological Society of America Bulletin*, vol.87, 1976, pp.1326-1330.
- (42) Pytte, A.M. and Reynolds, R.C.: The thermal transformation of smectite to illite, In: Naeser, N.D. and McCulloh, T.H.: *Thermal history of sedimentary basins*, Springer-Verlag, 1989, pp.133-140.
- (43) Cho, W.J. and Kim, G.Y.: Reconsideration of thermal criteria for Korean spent fuel repository, *Annals of Nuclear Energy*, vol.88, 2016, pp.73-82.
- (44) Pusch, P. and Madsen, F. T.: Aspects on the illitization of the Kinnekulle bentonites, *Clays and Clay Minerals*, vol.43, 1995, pp.261-270.
- (45) Pytte, A.: The kinetics of smectite to illite reaction in contact metamorphic shales, M.A Thesis of Dartmouth College, 1982.
- (46) 中山雅 (編): 幌延深地層研究計画 令和 2 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2021-053, 2022, 133p.
- (47) Ishii, E.: A conventional straddle-sliding-packer system as a borehole extensometer: Monitoring shear displacement of a fault during an injection test, *Engineering Geology*, vol.275, 2020, 105748.
- (48) Ishii, E.: Predictions of the highest potential transmissivity of fractures in fault zones from rock rheology; Preliminary results, *Journal of Geophysical Research; Solid Earth*, vol.120, No.4, 2015, pp.2220-2241.
- (49) Ozaki, Y. and Ishii, E.: Verification of the existing hydrogeological model using hydraulic pressure monitoring data during long-term drainage from Horonobe URL and prediction of the hydraulic response to new excavation of up to a 500-m depth, *Proceedings of the 2023 30th International Conference on Nuclear Engineering ICONE30*, in press.
- (50) Mochizuki, A. and Ishii, E.: Assessment of the level of activity of advective transport through fractures and faults in marine deposits by comparison between stable isotope compositions of fracture and pore waters, *Hydrogeology Journal*, vol.30, 2022, pp.813-827.
- (51) 望月陽人, 石井英一: 地下深部の岩盤における地下水の流れの有無を水の安定同位体比から判別する, *Isotope News*, 784, 2022, pp.23-27.

- (52) 水野崇, 岩月輝希, 松崎達二: ボーリング孔を利用した比抵抗検層結果に基づく地下水水質の推定方法に関する検討, 応用地質, 58, 3, 2017, pp.178-187.
- (53) 酒井利啓, 松岡稔幸: 幌延地域を対象とした地表踏査および地形データにもとづく地質分布の推定, JAEA-Research 2015-004, 2015, 109p.
- (54) 日本原子力研究開発機構, 電力中央研究所: 令和4年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 [JPJ007597] - 岩盤中地下水流動評価技術高度化開発 - 報告書, 経済産業省資源エネルギー庁, 2023.
- (55) Ota, K., Abe, H. and Kunimaru, T.: Horonobe underground research laboratory project synthesis of phase I investigations 2001-2005 volume "geoscientific research", JAEA-Research 2010-068, 2011, 370p.
- (56) 天野由記, 山本陽一, 南條 功, 村上裕晃, 横田秀晴, 山崎雅則, 國丸貴紀, 大山隆弘, 岩月輝希: 幌延深地層研究計画における地下水, 河川水および降水の水質データ (2001~2010 年度), JAEA-Data/Code 2011-023, 2012, 312p.
- (57) Aoyagi, K. and Ishii, E.: A method for estimating the highest potential hydraulic conductivity in the excavation damaged zone in mudstone, Rock Mechanics and Rock Engineering, vol.52, 2019, pp.385-401.
- (58) 日本原子力研究開発機構: 地下深部の割れ目の水の流れやすさに関わる法則性を発見 - 地層処分における地下調査の効率性の向上などに役立つ新発見 -, 令和3年12月6日プレス発表, 2021, <https://www.jaea.go.jp/02/press2021/p21120601/>
- (59) Aoyagi, K., Ishii, E., Chen, Y. and Ishida, T.: Resin-injection testing and measurement of the shear displacement and aperture of excavation-damaged-zone fractures: A case study of mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan, Rock Mechanics and Rock Engineering, vol.55, 2022, pp.1855-1869.
- (60) Asadollahi, P. and Tonon, F.: Constitutive model for rock fractures: Revisiting Barton's empirical model, Engineering Geology, vol.113, 2010, pp.11-32.
- (61) Miyakawa, K. and Nakata, K., Data of groundwater chemistry obtained in the Horonobe Underground Research Laboratory Project (FY2022), JAEA-Data/Code 2022-013, 2023, 19p.
- (62) 宮川和也: 幌延深地層研究計画で得られた地下水の水質データ (2021 年度), JAEA-Data/Code 2021-021, 2022, 23p.

- (63) 出井俊太郎, 望月陽人, 宮川和也, 笹本広: 幌延の地下施設における地下水の地球化学モニタリング装置を用いた物理化学パラメータ測定結果(2017年度~2019年度), JAEA-Data/Code 2021-005, 2021, 54p.
- (64) 中山雅, 佐野満昭, 真田祐幸, 杉田裕 (編): 幌延深地層研究計画 平成20年度調査研究成果報告 JAEA-Research 2009-032, 2009, 68p.
- (65) Isola, P., Zhu, JY., Zhou, T. and Efros, A.A.: Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, Submitted on 21 Nov 2016 (v1), last revised 26 Nov 2018 (v3), <https://arxiv.org/abs/1611.07004>.
- (66) 斉藤拓巳, 西柁作, 戸田賀奈子, 宮川和也, 天野由記: 蛍光分光測定と多変量解析を用いた深部地下水中の天然有機物の分類と錯生成能の解明, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.
- (67) Nishimura, H., Kouduka, M., Fukuda, A., Ishimura, T., Amano, Y., Beppu, H., Miyakawa, K. and Suzuki, Y., Anaerobic methane-oxidizing activity in a deep underground borehole dominantly colonized by *Ca. Methanoperedenaceae*, Environmental Microbiology Reports, doi: 10.1111/1758-2229.13146, 2023.
- (68) 小村悠人, 柏谷公希, 宮川和也, 中田弘太郎, 小池克明: 一次元堆積盆モデリングを用いた海成層・圧密過程における間隙水の流動と水質進化の推定, 日本地下水学会 2022 年秋季講演会, 2022.
- (69) 宮川和也, 中田弘太郎, 柏谷公希, 諏訪由起子: 生物起源シリカの埋没続成作用を模擬した鉱物相変化に伴う脱水が間隙水水質に及ぼす影響, 2022 年度日本地球化学会第 69 回年会, 2022.
- (70) 宮川和也, 柏谷公希, 小村悠人, 中田弘太郎: 新第三系堆積層における埋没続成作用を考慮した一次元数値解析モデルによる間隙水の水質進化, 2022 年度日本地球化学会第 69 回年会, 2022.
- (71) 桐島陽, 寺崎万里子, 宮川和也, 岡本芳浩, 秋山大輔: 深部地下水のアクチノイドの移行に影響を与える地下水成分の研究, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.
- (72) 下茂道人, 丹羽正和, 宮川和也, 安江健一, 戸野倉賢一, 徳永朋祥: 背斜軸周辺の大気中メタンアノマリについて, 深田地質研究所年報, 23, 2022, pp.21-34.

付録

(令和4年度外部発表)

著者アルファベット順に記載

阿部健康, 石井英一: 堆積岩中のイオン交換反応の数値モデル化と天然への適用, 日本鉱物科学会 2022 年年会, 2022.

Amano, Y., Beppu, H., Sato, T., Mochizuki, A., Thomas, B.C. and Banfield, J.F.: Spatial distribution of biofilm-forming Archaea in the deep sedimentary rock environment of the Horonobe area, Hokkaido, Japan, 日本微生物生態学会第 35 回大会, 2022.

Aoyagi, K., Ishii, E., Chen, Y. and Ishida, T.: Resin-injection testing and measurement of the shear displacement and aperture of excavation-damaged-zone fractures: A case study of mudstone at the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 55, 2022, pp.1855-1869.

出井俊太郎, 望月陽人: 幌延の地下施設における地下水の地球化学モニタリング装置を用いた物理化学パラメータ測定結果 (2020 年度), *JAEA-Data/Code* 2022-001, 2022, 29p.

出井俊太郎, 館幸男, 天野由記, Francisco, P.C.M., 杉浦佑樹, 高橋嘉夫: 北海道幌延地域の深部地下環境におけるセレンの長期的な収着・保持メカニズム, 2022 年度日本地球化学会第 69 回年会, 2022.

江口綾乃, 紀室辰伍, 天野由記, 館幸男: 深部堆積岩への Eu の収着挙動に及ぼす地下水中のフミン酸の影響, 日本腐植物質学会第 38 回講演会, 2022.

畑浩二, 丹生屋純夫, 青柳和平, 宮良信勝: 光式 AE 計測システムの光伝送損失に関する考察, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, 2022.

畑浩二, 丹生屋純夫, 松井裕哉, 宮良信勝: 掘削損傷領域の評価への DAS 利用に関する研究, 第 32 回トンネル工学研究発表会, 2022.

平塚晋也, 浅森浩一, 雑賀敦: S 波スプリッティング解析を用いたスラブ起源流体の移行経路推定の試み, *JAEA-Research* 2022-022, 2022, 38p.

本多典久, 出井俊太郎, 石井英一: 幌延深地層研究計画における深層ボーリング孔および浅層ボーリング孔を利用した長期水圧・水位観測, *JAEA-Data/Code* 2022-022, 2022, 37p.

Ishii, E.: Constant-head step injection tests to quantify the stress dependence of fracture transmissivity in an excavation damaged zone; A Case study from the Horonobe Underground Research Laboratory, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol.159, 2022, 105229.

岩月輝希: 地下研究所における地層処分の研究開発と理解促進の取り組み, 日本エネルギー環境教育学会全国大会シンポジウム (島根大会), 2022.

Kimura, S., Takeda, M., and Motoshima, T.: Evaluation of Sealing Performance of

Bentonite Materials in Excavated Damaged Zone for Sedimentary Rocks at the Horonobe Underground Research Laboratory, The 7th East Asia Forum on Radwaste Management (EAFORAM2022), 2022.

木村駿, 武田匡樹, 本島貴之, 壇英恵: 止水プラグを対象としたベントナイト系材料の吹付け施工性確認試験 (2) 地下施設における吹付け試験でのベントナイトの吹付け特性データの取得, 日本原子力学会 2022 秋の大会, 2022.

桐島陽, 寺崎万里子, 宮川和也, 岡本芳浩, 秋山大輔: 深部地下のアクチノイドの移行に影響を与える地下水成分の研究, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.

小村悠人, 柏谷公希, 宮川和也, 中田弘太郎, 小池克明: 一次元堆積盆モデリングを用いた海成層の堆積・圧密過程における間隙水の流動と水質進化の推定, 日本地下水学会 2022 年秋季講演会, 2022.

窪田健二, 森藤遥平, 松井裕哉: 水平坑道掘削に伴う掘削影響領域の長期挙動の調査—幌延深地層研究施設における検討—, 物理探査学会第 147 回学術講演会, 2022.

桑原彰吾, 奈良禎太, 柏谷公希, 藤井宏和, Zhao, Y., 松井裕哉, 尾崎裕介, 広吉直樹: 原位置岩盤における炭酸水および粉末試料を用いた透水試験, 資源・素材学会関西支部第 19 回若手研究者・学生のための研究発表会, 2022.

松井裕哉, 佐ノ木哲: 地質環境回復現象把握に対する地表面変位計測の有効性に関する検討, 令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会, 2022.

見掛信一郎: 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削における湧水抑制対策, 日本地下水学会シンポジウム「トンネルと地下水」, 2022.

宮川和也, 柏谷公希, 小村悠人, 中田弘太郎: 新第三系堆積層における埋没続成作用を考慮した一次元数値解析モデルによる間隙水の水質進化, 2022 年度日本地球化学会第 69 回年会, 2022.

Miyakawa, K. and Nakata., K.: Data of groundwater chemistry obtained in the Horonobe Underground Research Laboratory Project (FY2022), JAEA-Data/Code 2022-013, 19p.

宮川和也, 中田弘太郎, 柏谷公希, 諏訪由起子: 生物起源シリカの埋没続成作用を模擬した鉱物相変化に伴う脱水が間隙水水質に及ぼす影響, 2022 年度日本地球化学会第 69 回年会, 2022.

宮川和也, 山本肇: 地下水と溶存ガスを考慮した三次元二相流解析による掘削影響領域における飽和度分布, JAEA-Research 2022-003, 2022, 40p.

Mizuno, T., Milodowski, A.E. and Iwatsuki, T.: Precipitation sequence of fracture-filling calcite in fractured granite and changes in the fractionation process of rare earth elements and yttrium, Chemical Geology Vol.603, 2022, 120880.

Mizuno, T., Suzuki, Y., Milodowski, A.E. and Iwatsuki, T.: Isotopic signals in fracture-filling calcite showing anaerobic oxidation of methane in a granitic basement, Applied Geochemistry, 150, 105571.

Mochizuki, A. and Ishii, E.: Assessment of the level of activity of advective transport through fractures and faults in marine deposits by comparison between stable

- isotope compositions of fracture and pore waters, *Hydrogeology Journal*, 30, 2022, pp.813-827.
- 望月陽人, 石井英一: 地下深部の岩盤における地下水の現在の流れの有無を水の安定同位体比から判別する, *Isotope News*, 784, 2022, pp.23-27.
- 望月陽人, 松井裕哉, 尾崎裕介, 本島貴之, 城まゆみ, 柴田真仁, 根岸久美, 坂本亮: 幌延深地層研究所におけるコンクリート支保工の物性・化学特性変化の定量的把握 (1) 全体概要と初期状態の測定, 日本原子力学会 2022 秋の大会, 2022.
- 村上裕晃, 竹内竜史, 岩月輝希: 閉塞された地下施設における地下水水圧・水質観測システムの実証研究, *JAEA-Technology* 2022-022, 34p.
- 村山翔太, 武田匡樹, 大野宏和, 舘幸男: 幌延 URL における物質移行特性評価: 泥岩中の断層帯を対象とした原位置トレーサー試験, 第 65 回粘土科学討論会, 2022.
- 中田弘太郎, 長谷川琢磨, 太田朋子, Jiang, W., Lu, Z.T., 宮川和也: ^{81}Kr 分析のためのメタン減量手法の開発と深部地下水への適用, 日本地下水学会 2022 年秋季講演会, 2022.
- 中山雅(編): 幌延深地層研究計画 令和 3 年度調査研究成果報告, *JAEA-Review* 2022-027, 2022, 164p.
- 中山雅(編): 幌延深地層研究計画 令和 4 年度調査研究計画, *JAEA-Review* 2022-026, 2022, 66p.
- 奈良禎太, 加藤昌治, 佐藤努, 河野勝宣, 佐藤稔紀: 粘土を含む水が流れる条件下での巨視き裂を含む花崗岩の透水係数の変化, *Journal of MMIJ*, 138 巻 4 号, 2022, pp.44-50.
- Nishimura, H., Kouduka, M., Fukuda, A., Ishimura, T., Amano, Y., Beppu, H., Miyakawa, K. and Suzuki, Y.: Anaerobic methane-oxidizing activity in a deep underground borehole dominantly colonized by *Ca*. *Methanoperedenaceae*, *Environmental Microbiology Reports* (Internet), 9p.
- Nishimura, H., Kozuka, M., Fukuda, A., Ishimura, T., Amano, Y., Beppu, H., Miyakawa, K. and Suzuki, Y.: The Fe(III)-dependent anaerobic methane-oxidizing activity in a deep underground borehole demonstrated by in-situ pressure groundwater incubation, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 2022.
- Ohno, H. and Ishii, E.: Effect of fault activation on the hydraulic connectivity of faults in mudstone, *Geomechanics for Energy and the Environment*, 31, 2022, 100317.
- 大泉涼, 加藤猛士, 木方建造, 窪島光志, 宮良信勝: 坑道の掘削損傷領域 (EDZ) 評価のための割れ目調査, 令和 4 年度日本応用地質学会研究発表会, 2022.
- Ozaki, Y., Ishii, E. and Sugawara, K.: Variation in fault hydraulic connectivity with depth in mudstone; An Analysis of poroelastic hydraulic response to excavation in the Horonobe URL, *Geomechanics for Energy and the Environment*, 31, 2022, 100311. (<https://doi.org/10.1016/j.gete.2022.100311>)
- Saito, T., Yamazawa, H. and Mochizuki, A.: Numerical reproduction of the seasonal

- variation in dissolved uranium in Lake Biwa, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol.255, 2022, 107035.
- 斉藤拓巳, 西柁作, 戸田賀奈子, 宮川和也, 天野由紀: 蛍光分光測定と多変量解析を用いた深部地下水中の天然有機物の分類と錯生成能の解明, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.
- 笹尾英嗣, 村上裕晃, 尾崎裕介, 湯口貴史: 土岐花崗岩における物質移行特性に関する研究: 透過拡散試験の結果について, 日本地質学会第 129 年学術大会
- 柴田真仁, 根岸久美, 坂本亮, 松井裕哉, 望月陽人, 尾崎裕介: 幌延深地層研究所におけるコンクリート支保工の物性・化学特性変化の定量的把握 (2) 異なる環境に定置した試験体の経年変化の評価, 日本原子力学会 2022 秋の大会, 2022.
- 下茂道人, 丹羽正和, 宮川和也, 戸野倉賢一, 徳永朋祥: 高精度メタン測定による断層・褶曲軸周辺のガス移動経路の特定, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.
- 下茂道人, 丹羽正和, 宮川和也, 安江健一, 戸野倉賢一, 徳永朋祥: 背斜軸周辺の大気中メタンアノマリについて, 深田地質研究所年報, 23, 2022, pp.21-34.
- 下茂道人, 横井悟, 宮川和也, 丹羽正和, 松岡俊文, 徳永朋祥: CRDS 微量ガス検知器の石油ガス探鉱への応用; 予察的探鉱のすすめ, 石油技術協会令和 4 年度春季講演会, 2022.
- Shirase, M., Ishii, T., Kobayashi, I., Jo, M., Ono, M. and Nakayama, M.: Countermeasures against piping and erosion of bentonite buffer; Piping inhibition due to pre-hydration, Clay Conference 2022; 8th International Conference on Clays in Natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement, 2022.
- Takeda, M., Ohno, H., Tachi, Y. and Murayama, S.: Development of solute transport modeling for multiple flow paths around the faults in mudstone, 日本地球惑星科学連合 2022 年大会, 2022.
- 竹内竜史, 村上裕晃, 西尾和久: 瑞浪超深地層研究所の坑道埋め戻し等事業における環境モニタリング調査; 研究所用地および研究所用地周辺のボーリング孔における地下水の水圧・水質観測結果(2020-2021 年度), JAEA-Data/Code 2022-008, 2023, 184p.
- 吉田英一, 山本鋼志, 刈茅孝一, 松井裕哉: コンクリーション化による水みち割れ目自己シーリング地下実証試験研究, 日本地質学会第 129 年学術大会.
- 吉田英一, 山本鋼志, 浅原良浩, 刈茅孝一, 齊藤朱音, 松井裕哉: コンクリーション化による EDZ および水みち割れ目の自己シーリング実証試験研究, 令和 4 年度日本応用地質学会研究発表会, 2022.
- Zhao, Q., Saito, T., Miyakawa, K., Sasamoto, H., Kobayashi, T. and Sasaki, T.: Sorption of Cs⁺ and Eu³⁺ ions onto sedimentary rock in the presence of gamma-irradiated humic acid, *Journal of Hazardous Materials*, 428, 2022, 128211.